

Autofocussing microscope having a pattern imaging system

Patent Number: US5604344

Publication date: 1997-02-18

Inventor(s): FINAROV MOSHE (IL)

Applicant(s): NOVA MEASURING INSTR LTD (IL)

Requested Patent: DE19537376

Application Number: US19950539030 19951004

Priority Number(s): IL19940111229 19941010

IPC Classification: G01J1/20

EC Classification: G02B21/24B2

Equivalents: FR2725532, IL111229,
 JP8211282

Abstract

An autofocussing mechanism is provided which is useful for all objective lenses and during scanning of the object. The autofocussing mechanism operates with a microscope having a main optical path, an objective lens, an object surface, an image plane and apparatus for changing the distance between the objective lens and the object surface thereby to focus the image of the object. The autofocussing mechanism preferably includes a pattern imaging system, a single image detector and a pattern focus analyzer. The pattern imaging system images at least one pattern through the objective lens along the main optical path and onto the object surface. The image of the pattern is then combined with an image of the object and is reflected along the main optical path towards the image plane. The image detector detects the reflected image and the pattern focus analyzer determines the extent of sharpness of the pattern by analyzing the output of the image detector. The pattern focus analyzer can also indicate, to the apparatus for changing the distance, to move in a direction of increased focus.



(19) BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

Offenl gungsschrift

(10) DE 195 37 376 A 1

(61) Int. Cl. 6:
G 02 B 7/36
G 02 B 21/24

DE 195 37 376 A 1

(21) Aktenzeichen: 195 37 376.6
(22) Anmeldetag: 8. 10. 95
(43) Offenlegungstag: 18. 4. 96

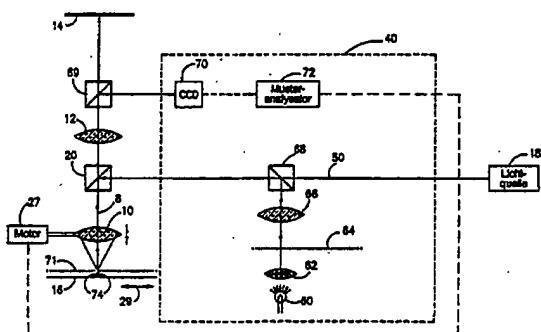
(30) Unionspriorität: (32) (33) (31)
10.10.94 IL 111229

(72) Erfinder:
Finarov, Moshe, Rehovot, IL

(71) Anmelder:
Nova Measuring Instruments Ltd., Rehovot, IL
(74) Vertreter:
Lewald · Grape · Schwarzensteiner, 80331 München

(54) Autofokussierungsmikroskop

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft einen Autofokussierungsmechanismus, der für sämtliche Objektivlinsen zweckdienlich und während des Abtastens bzw. Scannens eines Objektes zweckdienlich ist. Der Autofokussierungsmechanismus arbeitet mit einem Mikroskop, das einen Hauptstrahlengang (8), eine Objektivlinse (10), eine Objektfläche (16), eine Bildebene (14) und eine Einrichtung (27) zum Ändern des Abstandes zwischen der Objektivlinse (10) und der Objektfläche (16), um dabei das Bild des Objektes zu fokussieren, aufweist. Der Autofokussierungsmechanismus umfaßt vorzugsweise ein Musterabbildungssystem, einen einzelnen Bilddetektor bzw. eine einzelne Bildabtasteinrichtung (70) und einen Musterbrennpunktanalysator (72). Das Musterabbildungssystem bildet wenigstens ein Muster (64) durch die Objektivlinse (10) längs des Hauptstrahlenganges (8) und auf der Objektfläche (16) ab. Das Bild des Musters (64) wird dann mit einem Bild des Objektes kombiniert und längs des Hauptstrahlenganges (8) zu der Bildebene (14) reflektiert. Der Bilddetektor (70) detektiert das reflektierte Bild und der Musterbrennpunktanalysator (72) bestimmt den Umfang der Schärfe des Musters (64) durch Analysieren des Ausgangs bzw. Outputs des Bilddetektors (70). Der Musterbrennpunktanalysator (72) kann auch der Einrichtung (27) zum Ändern des Abstandes anzeigen, sich in eine Richtung einer erhöhten Bildschärfe zu bewegen.



DE 195 37 376 A 1

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft Autofokussierungsmechanismen im allgemeinen und Autofokussierungsmechanismen für optische Systeme mit niedrig-numerischer Blende bzw. (Blenden-)Öffnungsfokus bzw. Apertur im besonderen.

Autofokussierungssysteme für optische Systeme, wie Mikroskope, sind im Stand der Technik bekannt. Es gibt eine Vielzahl von verschiedenen Typen, die sämtlich eine Autofokussierungsabtasteinheit und einen Autofokussierungsantrieb beinhaltet. Die Abtasteinheit stellt ein Fokus- bzw. Brennpunkt- bzw. Bildschärfefehlersignal bereit, das zu dem Defokussierungsumfang des Bildes proportional ist (d. h. proportional zu dem Abstand zwischen der nominalen Objektebene und der tatsächlichen Ebene des Objektes). Der Antrieb, der typischerweise ein Motor irgendeiner Art ist, setzt entweder das Objekt oder die Fokalebene bzw. Brennebene um.

Autofokussierungssysteme können in zwei Hauptgruppen, statische und dynamische Systeme, unterteilt werden, basierend auf dem Zustand des Objektes, das im Augenblick aus dem Fokus bzw. dem Brennpunkt bzw. der Bildschärfe ist.

Statische Autofokussierungssysteme verwenden das Objekt, das stationär bleibt, um den Defokussierungsumfang zu bestimmen. Zum Beispiel analysieren die Autofokussierungssysteme der meisten Verbraucherkameras die Schärfe der Details bzw. Einzelheiten des Objektes in einem erhaltenen Bild, um den Defokussierungsumfang zu bestimmen. Wenn das optische System hin zu und weg von dem Objekt bewegt wird, wird die Änderung in der Defokussierung gemessen.

Ein typisches bekanntes Mikroskop ist in der Fig. 1 dargestellt, auf welche nun Bezug genommen wird. Das Mikroskop umfaßt längs eines Strahlenganges bzw. optischen Weges 8 eine verschiebbare bzw. bewegbare Objektivlinse 10, eine stationäre Tubuslinse bzw. Röhrenlinse (tube lens) 12, eine Bildebene 14, welche die Fokalebene bzw. Brennebene der Tubuslinse 12 ist, und eine Objektfläche oder -ebene 16, in welcher ein darzustellendes Objekt, wie ein Film, angeordnet ist. Das Mikroskop umfaßt zusätzlich eine Lichtquelle 18, um das Objekt zu beleuchten, und einen Strahlenteiler bzw. Strahlungsteiler 20, um den durch die Lichtquelle 18 erzeugten Lichtstrahl 22 hin zu der Objektfläche 16 zu richten. Das Objekt auf der Objektfläche 16 reflektiert das Licht zurück durch die Objektivlinse 10, den Strahlenteiler 20 und die Tubuslinse 12 hin zu der Bildebene 14.

Wenn sich die Objektfläche 16 nicht in der Fokalebene bzw. Brennebene der Linse 10, der bewegbaren Objektivlinse 10, befindet, wird der Fokus bzw. der Brennpunkt bzw. die Bildschärfe durch Bewegen der Linse 10 in der Richtung des Strahlenganges 8 eingestellt. Alternativ wird die Objektfläche 16 bewegt. Die Tiefenschärfe (DOF) der Objektivlinse 10 ist begrenzt, wie in der Fig. 1 dargestellt ist.

Mikroskope weisen typischerweise triangulierende bzw. aus Dreiecken zusammensetzende bzw. dreieckbildende (triangulating) Autofokussierungsabtasteinheiten auf, die eine schräge bzw. schiefe Beleuchtung und eine spiegelnde bzw. regelmäßige bzw. gerichtete Reflexion verwenden. Daher wird, wie in der Fig. 2 dargestellt ist, auf welche nun Bezug genommen wird, eine Autofokussierungslichtquelle 19 derart angeordnet, um die Objektebene 16 schräg bzw. schief zu beleuchten, und beinhaltet das Mikroskop zusätzlich einen Positionsabtast-

detektor (PSD) 28 zum Abtasten der seitlichen Versetzung des Strahls (wie weiter unten beschrieben wird) sowie einen Motor 27 zum Bewegen der Objektivlinse 10.

Bei dem Mikroskop der Fig. 2 wird der mit 30 bezeichnete Lichtstrahl durch den Strahlenteiler 20 an einem Punkt A auf eine Seite des Strahlenganges 8 abgelenkt. Der abgelenkte Strahl 30 wird durch die Objektivlinse 10 derart abgelenkt bzw. gebogen, um die Objekt ebene 16 an einem Reflexionspunkt C in einem Winkel a schräg bzw. schief zu beleuchten.

Der Strahl 30 wird all Lichtstrahl 32 reflektiert und durch den Strahlenteiler 20 an einem Punkt B auf die andere Seite des Strahlenganges 8 vom Punkt A abgelenkt. Der abgelenkte Lichtstrahl 32 beleuchtet dann den PSD 28, welcher den Ort, an welchem der Strahl 32 auf diesen auftrifft, mißt.

Wenn sich die Objektfläche 16 außerhalb des Brennpunktes, da dieser von der Objektivlinse 10 entfernt ist, zum Beispiel an dem mit 16' bezeichneten und durch die gestrichelten Linien angedeuteten Ort befindet, legt der Lichtstrahl 30, bevor er reflektiert wird, weiter einen Weg bis zu einem Reflexionspunkt D zurück, der seitlich von dem Punkt C, dem vorhergehenden Reflexionspunkt, verschoben ist.

Der mit 32' bezeichnete, abgelenkte Lichtstrahl nimmt einen unterschiedlichen Weg, wobei er auf den Strahlenteiler an einem Punkt B' auftrifft und dementsprechend auf den PSD 28 an einem unterschiedlichen Ort auftrifft.

Da der Abstand zwischen den Reflexionspunkten C und D eine Funktion des Defokussierungsumfanges ist und da dieser Abstand in dem Abstand zwischen den Punkten B und B' reflektiert wird, kann der Defokussierungsumfang gemessen und entsprechend kompensiert werden, indem der Motor 27 die Objektivlinse 10 bewegt.

Die folgenden US-Patente stellen Beschreibungen verschiedener Systeme, die auf dem oben beschriebenen Triangulationsprinzip basieren, zur Verfügung: 5,136,149 von Fujiwara et al und 4,577,095 von Watana be.

Eine dynamische Autofokussierung wird verwendet, wenn es erwünscht ist, das Objekt ständig im Fokus bzw. Brennpunkt zu halten, während es sich relativ zu der Objektivlinse bewegt. Diese Verfahren sind bei automatischen optischen Inspektionssystemen, wie für Kristallscheiben- oder Zwischenmaskeninspektionssysteme, welche eine große Objektfläche innerhalb einer kurzen Zeitdauer inspizieren müssen, allgemein bekannt.

Bei automatischen Inspektionssystemen wird das Objekt kontinuierlich abgetastet bzw. gescannt (eine Bewegung in der Ebene der Objektfläche, die durch den Pfeil 29 gekennzeichnet ist) und weist das Objekt typischerweise ein zweidimensionales Muster in bzw. auf dieser auf. Als ein Ergebnis arbeiten die stationären Autofokussierungsverfahren nicht, da die Bewegung des Objektes und seines Musters das Abtasten des Brennpunktes bewirken. Das US-Patent 4,639,587 von Chadwick et al beschreibt ein System, welches die Effekte eines sich bewegenden Objektes umgeht. Bei diesem System wird ein Gitter bzw. Netz bzw. Raster (grid), welches sich in einem Beleuchtungsweg bzw. Beleuchtungsgang befindet, durch die Objektivlinse des Mikroskops auf einen untersuchten Artikel projiziert. Das Gitter wird alternativ auf den Artikel mit zwei verschiedenen Versetzungen (offsets) von der optischen Haupt-

achse des Mikroskops projiziert. Als ein Ergebnis wird das Gitter schräg bzw. schief auf den untersuchten Artikel projiziert.

Jeder reflektierte Strahl wird auf ein statisches Gitter projiziert, das auf das nominale Gitterbild eingestellt wird, wenn sich das Bild im Brennpunkt durch ein Viertel der Gitterperiode befindet. Die Lichtintensität der reflektierten Gitter durch die statischen Gitter wird gemessen.

Die Verschiebung des zu untersuchenden Artikels wird als eine Funktion des Umfanges der Verschiebung der reflektierten Gitter in Bezug auf die statischen bestimmt. Da beide Strahlengänge dieselbe Gitterverschiebung, jedoch in entgegengesetzten Richtungen, vorsehen, misst der Unterschied zwischen ihren Signalen den Fokus- bzw. Brennpunkt- bzw. Bildschärfefehler und ist der Brennpunktfehler unempfindlich auf das Muster des untersuchten Artikels.

Da das Fehlersignal des US-Patents 4,639,587 durch Analog-Detektoren erzeugt wird, ist dieses System sehr empfindlich auf einen Hintergrundpegel von Störlicht bzw. Streulicht, Störung bzw. Rauschen und auf ein Fehlen einer Gleichmäßigkeit von den zwei Strahlengängen. Als ein Ergebnis beinhaltet dieses System zusätzliche optische und elektronische Elemente, um die notwendige Selbstkompensation und Selbstkalibrierung bzw. Selbsteichung vorzusehen.

Es wird weiterhin bemerkt, daß die Triangulationsverfahren einen ziemlich großen Winkel der schrägen bzw. schiefen Beleuchtung benötigen. Ansonsten stellt die seitliche Verschiebung des Strahles kein ausreichend empfindliches Maß des Defokussierungsumfangs dar. Daher eignen sich Triangulationsverfahren nicht gut für Objektivlinsen mit niedrig-numerischen Blenden, welche kleine Einfallswinkel der abtastenden Strahlen induzieren.

Das US-Patent 4,725,722 von Maeda et al beschreibt ein Autofokussierungsverfahren, das für integrierte Schaltkreise geeignet ist. Das Verfahren projiziert ein gestreiftes Muster auf dem zu fokussierenden Objekt und der Kontrast des Bildes des Streifenmusters wird zum Fokussieren verwendet. Das Bild wird durch ein optisches System abgebildet und durch zwei Detektoren abgetastet, jeweils an zwei verschiedenen Orten gegenüber der Brennebene des optischen Systems. Wenn sich die Signale der zwei Detektoren gleichmäßig außerhalb des Brennpunktes befinden, befindet sich das Objekt in der Brennebene des optischen Systems.

Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, einen Autofokussierungsmechanismus zur Verfügung zu stellen, der für sämtliche Objektivlinsen, jedoch insbesondere für diejenigen mit niedrig-numerischen Blenden bzw. (Blenden-)öffnungen bzw. Aperturen verwendbar ist. Weiterhin besteht eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, einen Autofokussierungsmechanismus zur Verfügung zu stellen, der während des Abtastens bzw. Scannens des Objektes verwendbar ist.

Der Autofokussierungsmechanismus arbeitet mit einem Mikroskop, das einen Hauptstrahlengang, eine Objektivlinse, eine Objektfläche, eine Bildebene und eine Einrichtung zum Ändern des Abstandes zwischen der Objektivlinse und der Objektfläche, um dabei das Bild des Objektes zu fokussieren, aufweist. Der Autofokussierungsmechanismus umfaßt vorzugsweise ein Musterabbildungssystem, einen einzelnen Bilddetektor bzw. eine einzelne Bildabtasteinrichtung und einen Musterbrennpunktanalysator. Das Musterabbildungssystem bildet wenigstens ein Muster durch die Objektivlinse

langs des Hauptstrahlenganges und auf der Objektfläche ab. Das Bild des Musters wird dann mit einem Bild des Objektes kombiniert und langs des Hauptstrahlenganges zu der Bildebene reflektiert. Der Bilddetektor detektiert das reflektierte Bild und der Musterbrennpunktanalysator bestimmt den Umfang der Schärfe des Musters durch Analysieren des Ausgangs bzw. Outputs des Bilddetektors. Der Musterbrennpunktanalysator kann auch der Einrichtung zum Ändern des Abstandes anzeigen, sich in eine Richtung einer erhöhten Bildschärfe zu bewegen.

In Übereinstimmung mit einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfaßt das Musterabbildungssystem eine kontrastreiche Mustervorrichtung (high contrast pattern apparatus), eine zusätzliche Linse, eine Autofokussierungslichtquelle und einen Strahlenteiler bzw. Strahlsteiler. Die zusätzliche Linse bildet das Muster durch die Objektivlinse auf der Objekt ebene ab. Die Autofokussierungslichtquelle beleuchtet das Muster hin zu der zusätzlichen Linse und der Strahlenteiler kombiniert das Musterabbildungssystem mit dem Hauptstrahlengang.

In Übereinstimmung mit einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfaßt die kontrastreiche Mustervorrichtung zusätzlich ein einzelnes Muster, das in der Objektebene der zusätzliche Linse angeordnet ist. Alternativ umfaßt sie zwei kontrastreiche Muster, die von der Objektebene der zusätzlichen Linse gleichabstandet angeordnet sind. In dem alternativen Fall wird jedes der kontrastreichen Muster auf einem unterschiedlichen Teil der Objektebene des Objektivs abgebildet.

Weiterhin wird der Autofokussierungsmechanismus in Übereinstimmung mit bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung längs eines Beleuchtungsweges des Mikroskops kombiniert. Er kann alternativ längs des Hauptstrahlenganges kombiniert werden.

Des weiteren stellt die Autofokussierungslichtquelle in Übereinstimmung mit einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung Licht bereit, das für das menschliche Auge nicht sichtbar ist.

Schließlich umfaßt der Musterbrennpunktanalysator in Übereinstimmung mit einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung eine Musterermittlungseinrichtung bzw. Musterabzieheinrichtung zum Ermitteln bzw. Abziehen des Musters und eine Musterschärfebestimmungseinrichtung zum Bestimmen der Schärfe des Musters. Im Falle von zwei Mustern wirkt die Musterschärfebestimmungseinrichtung getrennt auf die Bilder von jedem der zwei kontrastreichen Muster, wobei zwei Schärfewerte erzeugt werden. Aus den Schärfewerten bestimmt der Musteranalysator eine Richtung und einen Betrag einer Bewegung für die Einrichtung zum Ändern des Abstandes zwischen dem Objektiv und der Objektfläche.

Die vorliegende Erfindung wird aus der folgenden detaillierten Beschreibung, die in Verbindung mit den Zeichnungen erfolgt, besser verständlich und beurteilbar, wobei:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines bekannten Mikroskops ist,

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines bekannten Mikroskops mit einem aus Dreiecken zusammensetzenen Autofokussierungsmechanismus ist,

Fig. 3 eine schematische Darstellung eines Mikroskops mit einem Autofokussierungsmechanismus ist, der in Übereinstimmung mit einer ersten bevorzugten

Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ausgebildet und wirksam ist.

Fig. 4A, 4B und 4C graphische Darstellungen des Graustufensignals eines idealen, fokussierten bzw. defokussierten Gitterbildes sind,

Fig. 4D und Fig. 4E graphische Darstellungen von Histogrammen der Kurven der Fig. 4B bzw. 4C sind,

Fig. 5 eine schematische Darstellung eines Mikroskops mit einem Autofokussierungsmechanismus ist, der in Übereinstimmung mit einer zweiten bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ausgebildet und wirksam ist,

Fig. 6 eine schematische Darstellung des Bildes der Muster der Fig. 5 ist, und

Fig. 7 eine schematische Darstellung eines Mikroskops mit einem Autofokussierungsmechanismus ist, der in Übereinstimmung mit einer dritten bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ausgebildet und wirksam ist.

Unter Bezugnahme auf die Fig. 3, die ein bekanntes Mikroskop, wie dasjenige, welches in der Fig. 1 gezeigt ist, mit einer zusätzlichen Autofokussierungsvorrichtung 40, die in Übereinstimmung mit einer ersten bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ausgebildet und wirksam ist, darstellt.

Wie in der Fig. 1 umfaßt das Mikroskop der Fig. 3 eine Objektfläche 16, eine Objektivlinse 10, einen Strahlenteiler bzw. Strahlungsteiler 20, eine Tubuslinse bzw. Röhrenlinse (tube lens) 12, eine Bildebene 14 und eine beleuchtende Lichtquelle 18. Wie bei dem Stand der Technik befinden sich die Objektivlinse 10, der Strahlenteiler 20 und die Tubuslinse 12 in dem Hauptstrahlengang bzw. optischen Hauptweg 8 und stellt die Lichtquelle 18 einen Lichtstrahl 50, der durch den Strahlenteiler 20 auf den Strahlengang 8 abgelenkt wird, zur Verfügung. Wie in der Fig. 2 gezeigt ist, ist die Objektivlinse 10 über einen zugeordneten bzw. verbundenen Motor 27 bewegbar.

In Übereinstimmung mit der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist die Autofokussierungsvorrichtung 40 eine zusätzliche Vorrichtung, die dem optischen System jedes bekannten Mikroskops zugefügt werden kann. Die Vorrichtung 40 umfaßt eine zweite Lichtquelle 60, eine Beleuchtungslinse 62, ein kontrastreiches (high contrast), transparentes Objekt 64, eine Abbildungslinse 66, zwei Strahlenteiler bzw. Strahlungsteiler 68 und 69, einen Bilddetektor 70 und einen Musteranalysator 72. Der Strahlenteiler bzw. Strahlungsteiler 69 ist in den Strahlengang 8 eingefügt und dient dazu, das Bild hin zu der Bildebene 14 zum Betrachten durch einen Benutzer und zu dem Bilddetektor 70, der in dem gleichen Abstand von dem Strahlenteiler bzw. Strahlungsteiler 69 wie die Bildebene 14 angeordnet ist, zum späteren Verarbeiten zur Verfügung zu stellen. Wie aus dem Stand der Technik bekannt ist, kann die Autofokussierungsvorrichtung 40, wenn das Mikroskop schon eine CCD-Kamera in der Bildebene 14 beinhaltet, die vorhandene CCD verwenden und benötigt nicht den Strahlenteiler bzw. Strahlungsteiler 69 und den Bilddetektor 70.

Die Licht fokussierende Linse 62 beleuchtet das transparente Objekt 64 mit Licht aus der Quelle 60. Das transparente Objekt 64 kann jedes kontrastreiche Objekt, wie ein Metallmuster auf einem Glassubstrat, sein. Das Muster kann jedes leicht identifizierbare Muster, wie eine Kontrastkante (contrast edge), ein Gitter, ein kreisförmiges Muster, etc. sein.

Das Licht aus dem Muster 64 wird durch die Abbil-

dungslinse 66 gesammelt und, d. h. als parallel gerichteter bzw. kollimierter Strahl, übertragen und das resultierende Bild wird über die Strahlenteiler bzw. Strahlungsteiler 68 und 20 sowie die Objektivlinse 10 auf die Objektfläche 16 projiziert.

Die Bilder des Musters 64 und des Objektes auf der Objektfläche 16 werden durch die Objektivlinse 10, den Strahlenteiler bzw. Strahlungsteiler 20 und die Tubuslinse 12 übertragen und werden auf den Bilddetektor 70, wie einer ladungsgekoppelten Einrichtung (CCD), durch welche sie in digitale Daten konvertiert werden, um durch den Musteranalysator 72 bearbeitet bzw. verarbeitet zu werden, abgebildet. Es wird angemerkt, daß in der Fig. 3 durchgezogene Linien Lichtstrahlen darstellen, während gestrichelte Linien den Datenfluß darstellen.

Die Linse 66 wird eingestellt, um das Muster 64 auf die mit 71 bezeichnete Objektebene der Objektivlinse 10 zu projizieren, von wo das optische System des Mikroskops es auf der Bildebene 14 abbildet. Wenn sich die Objektfläche 16 in der Objektebene 71 befindet, befinden sich daher beide Bilder, dasjenige des Musters 64 und dasjenige des Objektes, auf der Fläche 16 im Fokus bzw. Brennpunkt. Selbst wenn sich das Objekt bewegt, was das Objekt veranlaßt, unscharf bzw. verschwommen zu erscheinen, bleibt das Muster 64, das sich nicht bewegt, scharf sichtbar. Das Objekt kann sich entweder selbst bewegen, was der Fall sein kann, wenn ein Lebewesen betrachtet wird, oder kann durch das Mikroskop bewegt werden, wenn die Objektfläche 16 abgetastet bzw. gescannt wird.

Es wird angemerkt, daß die Objektebene für das Mikroskop der Fig. 3 auch die Brennebene ist. Bei anderen Typen von Mikroskopen ist jedoch die Objektebene eine andere als die Brennebene.

Wenn die Objektfläche 16, wie in der Fig. 3 gezeigt ist, nicht die Objektebene 71 ist, befindet sich die Projektion des Musters 64 auf der Objektfläche 16 außerhalb des Fokus bzw. des Brennpunktes bzw. der Bildschärfe. Dies ist in der Fig. 3 durch die Verlängerungen 74 des aus der Objektivlinse 10 kommenden Lichtes angedeutet. Das optische System des Mikroskops durchläuft ein defokussiertes Bild des defokussierten Musters 64 und des Objektes zu der Bildebene 14 und zu der CCD 70.

Es wird angemerkt, daß das Bild des Musters 64 zweimal defokussiert wird, einmal, wenn es auf die Objektfläche 16 projiziert wird, und einmal, wenn es auf die CCD 70 abgebildet wird. Dies stattet die Autofokussierungsvorrichtung 40 der vorliegenden Erfindung mit einer bedeutsamen Empfindlichkeit auf den Umfang der Schärfe des Objektes aus. Mit anderen Worten wird das Bild des Musters 64 weniger prägnant oder mehr verschwommen werden, wenn sich die Objektivlinse 10 näher zu oder weiter von der Objektfläche 16 bewegt.

Ein Bild eines gitterförmigen Musters ist schematisch in den Fig. 4A, 4B und 4C dargestellt, auf welche nun kurz Bezug genommen wird. Dort sind drei Kurven gezeigt, welche die Lichtintensität und das CCD-Graustufensignal gegenüber der horizontalen Position X darstellen. Die Kurve 80 stellt ein ideales Musterintensitätsprofil dar, das Bereiche 82 einer vollständigen Übertragung und Bereiche 84 mit keiner Übertragung (d. h. lichtundurchlässig) aufweist. Die Kurve 86 stellt das Graustufensignal, das durch die CCD erhalten wird, wenn sich die Objektfläche 38 in der Objektebene 71 der Objektivlinse 10 befindet, dar. Die Kurve 86 ist eine periodische Kurve, die sich in dem Bereich, der gering-

fügig kleiner ist der Bereich zwischen einer minimalen Intensität Min und einer maximalen Intensität Max, er-
streckt. Die Kurve 88 stellt das Graustufensignal, das durch die CCD empfangen wird, wenn die Objektfläche 16 von der Objektebene 71 entfernt ist, dar. Die Kurve 88 ist ebenso periodisch, jedoch ist ihr maximaler Wert weitaus kleiner als der Signalwert Max und ist sein mini-
maler Wert weitaus größer als der Signalwert Min.

Zurückkommend auf die Fig. 3 erhält der Musteranaly-
lysator 72 einen Datenblock von der CCD 70 und analy-
siert dessen Schärfe. Der Analyseator 72 weist zwei Ana-
lyseverfahren auf, die davon abhängen, ob die Objekt-
fläche 16 während der Zeit zur Autofokussierung ab-
getastet bzw. gescannt wird oder nicht.

Wenn sich die Objektfläche 16 bewegt, empfängt die
CCD 70 ein verschwommenes Bild des Objektes. Im
Gegensatz dazu wird das Bild des Musters festgelegt
und bewegt sich nicht in bezug auf die Objektivlinse 10
und den CCD-Detektor 70. Daher wird das Bild des
Musters stark kontrastiert mit demjenigen des Objektes
und kann die Schärfe des Musters bestimmt werden.

Zum Beispiel kann ein Graustufenhistogramm, das
eine Anzahl von Bildelementen bzw. Pixeln bei jeder
Graustufe bzw. bei jedem Graupiegel des empfangenen
Bildes aufzeichnet ist, erzeugt werden. Wenn sich das
Muster im Fokus bzw. Brennpunkt befindet, weisen die
Bildelemente des Musters, die zu den Kanten bzw. Rän-
dern nicht benachbart sind, die gleiche Graustufe auf
(d. h. transparente Bereiche des Musters befinden sich
an dem maximalen Wert der Fig. 4B und lichtundurch-
lässige Bereiche befinden sich an dem minimalen Wert).
Daher weist ein Histogramm eines fokussierten Bildes,
das in der Fig. 4D gezeigt ist, auf welche nun kurz Bezug
genommen wird, einen Peak bzw. Spitzenwert oder
Ausschlag 90 für die transparenten Bereiche des Mu-
sters, in welchen das Objekt gesehen wird, und einen
Peak 92 für die lichtundurchlässigen (schwarzen) Berei-
che des Musters auf.

Wenn sich das Muster außerhalb des Brennpunktes
befindet, ist das Bild des Musters verschwommen und
weisen daher eine größere Anzahl von Bildelementen
bzw. Pixeln Zwischenwerte zwischen dem maximalen
und minimalen Wert auf, wie in der Fig. 4C angedeutet
ist. Daher ist ein Histogramm eines defokussierten Bil-
des, das in der Fig. 4E gezeigt ist, auf welche nun kurz
Bezug genommen wird, ähnlich zu demjenigen, das in
der Fig. 4D gezeigt ist, jedoch mit zwei zueinander sehr
viel engeren Peaks längs der Graustufenachse. Wenn
das Bild vollständig verschwommen ist, ist dort nur ein
einziger Peak in dem Histogramm vorhanden. Daher
kann die Bildschärfe als eine Funktion des Abstandes
zwischen den zwei Peaks längs der Graustufenachse
definiert werden.

Es ist ersichtlich, daß eine Autofokussierung mit dem
oben beschriebenen Verfahren auftreten kann, während
die Objektfläche 16 abgetastet bzw. gescannt wird, da
das Bild des Objektes vollständig verschwommen ist.
Dementsprechend werden sämtliche Punkte des Grau-
stufenhistogramms längs der Graustufenachse um annä-
hernd den gleichen Wert verschoben und ändert sich
daher der Abstand zwischen den Peaks, welche die Bild-
schärfe definieren, nicht.

Wenn die Objektfläche 16 auch stationär ist, muß das
Bild des Musters von dem kombinierten Bild entfernt
werden, bevor die Schärfe des Musters bestimmt wer-
den kann. Die Ermittlung bzw. Abziehung (extraction)
kann auf jede geeignete Weise durchgeführt werden. Da
das Muster im allgemeinen ein periodisches Muster ist,

weist die Fourier-Transformation des empfangenen Bil-
des einen Peak bei der Frequenz, die auf die Periodizität
des Musters bezogen ist, auf. Das empfangene Bild kann
gefiltert werden, um sämtliche Pixel zu entfernen, die
nicht der Frequenz des Musters entsprechen. Die Schär-
fe des resultierenden Bildes wird dann in Übereinstim-
mung mit dem hierin zuvor umrissenen Histogramm-
verfahren bestimmt.

Wenn es eine CCD in der Bildebene 14 gibt, kann die
10 CCD alternativ für eine Musteranalyse verwendet werden.
Da sich das Autofokussierungsmuster mit dem Bild,
das in der Bildebene gesehen wird, überlagern bzw. dies-
ses (störend) beeinflussen kann, kann die zweite Licht-
quelle 60 entweder nach der Autofokussierung ausge-
schaltet werden oder einen zu demjenigen, der für die
CCD auf der Bildebene vorgesehen ist, unterschiedli-
chen Spektralbereich aufweisen. Für die erste Situation
(Auslöschen der Lichtquelle) ist eine lichtemittierende
Diode geeignet.

Für die zweite Situation kann der Spektralbereich des
Hauptstrahlenganges (zu der CCD auf der Bildebene
14) im sichtbaren Bereich (400 bis 700 nm) und derjenige
des autofokussierenden Weges in der Nähe des Infrarot-Bereichs (700 bis 900 nm) liegen. Bei diesem Beispiel
25 sollte der Strahlenteiler bzw. Strahlungsteiler 69 dichroitisch
sein; er sollte Licht mit Wellenlängen kleiner als
700 nm übertragen und Licht von Wellenlängen größer
als 700 nm reflektieren.

Der Unterschied zwischen dem Bild, das durch die
30 CCD in bzw. auf der Bildebene 14 empfangen wird, und
demjenigen, das durch die CCD 70 empfangen wird,
sieht das Bild des Musters vor. Dessen Schärfe kann, wie
hierin oben beschrieben, bestimmt werden.

Wenn eine kleine Änderung in dem Abstand der Ob-
jektivlinse 10 von der Objektfläche 16 eine große Ände-
35 rung in der Schärfe des Bildes des Musters nach sich
zieht bzw. induziert (da das Muster 64 zweimal durch
die Objektivlinse 10 bearbeitet bzw. verarbeitet wird),
kann der Musteranalyseator 72 schnell den Umfang der
40 Schärfe bestimmen und den Motor 27 entsprechend
kontrollieren bzw. steuern.

Es ist ersichtlich, daß die Autofokussierungseinheit
der Fig. 3 den Umfang der Schärfe (welcher den Defo-
kussierungsumfang anzeigt), nicht aber die Richtung,
45 um ihn zu reduzieren, bestimmt.

Ein Defokussierungsrichtungssystem ist bei der Auto-
fokussierungsvorrichtung 100 der Fig. 5 vorgesehen, auf
die nun Bezug genommen wird. Die Autofokussierungs-
vorrichtung 100 der Fig. 5 ist mit der Ausnahme ähnlich
50 zu derjenigen der Fig. 3, daß sie zwei Muster 94 und 96
aufweist und deren mit 102 bezeichneter Musteranaly-
sator ein etwas unterschiedliches Analyseverfahren
durchführt. Die verbleibenden Elemente sind zu denje-
nigen der Fig. 3 ähnlich und besitzen daher zum Zwecke
55 der Klarheit gleiche Bezugsziffern.

Bei dieser zweiten Ausführungsform sind die zwei
Muster 94 und 96 derart ausgestaltet, um trennbar zu
sein. Zum Beispiel können sie zwei verschiedene Muster
ausweisen oder können sie ähnliche Muster, aber in
60 zwei verschiedenen Bereichen der Bildebene 14 sein.
Ein resultierendes Bild von letzterem Fall ist in der Fig.
6 dargestellt. Das Bild weist zwei Sätze von schwarzen
Linien 95 auf, wobei einer von ihnen das Bild 97 des
Musters 94 ist und der andere das Bild 99 des Musters
96 ist. Es wird angemerkt, daß die zwei Muster verschie-
dene Bereiche des Gesamtbildes belegen; Bild 97 befin-
det sich oberhalb des Bildes 99.

Auf die Fig. 5 zurückkommend sind die zwei Muster

punktiert (Muster 94) und gestrichelt (Muster 96) dargestellt. Die beiden Muster 94 und 96 sind entsprechend in einem Abstand 6 oberhalb und unterhalb der Objektebene 98 der Linse 66 angeordnet. Wie bei der vorhergehenden Ausführungsform projizieren die Linsen 66 und 10 eine Objektebene 98 auf die Objektebene 71.

Da die zwei Muster 94 und 96 von der Objektebene 98 gleich beabstandet sind, befinden sie sich gleichermaßen außerhalb des Fokus bzw. des Brennpunktes bzw. der Bildschärfe, wenn sich die Objektfläche 16 in der Objektebene 71 der Objektivlinse 10 befindet. Wenn die beiden Muster 94 und 96 gleichermaßen (d. h. gleich scharf) defokussiert werden, befindet sich daher die Objektfläche 16 im Brennpunkt.

Das Muster, dessen Bild sich mehr im Brennpunkt befindet, zeigt die Richtung an, in welcher die Objektivlinse 10 (oder alternativ die Objektfläche 16) bewegt werden muß, um ein fokussiertes Bild zu erhalten.

Der Musteranalysator 102 umfaßt zwei Musterermittlungseinrichtungen bzw. Musterabziecheinrichtungen (pattern extractors) 104, wobei jede das Bild des einen der Muster 94 oder 96 ermittelt bzw. abzieht, korrespondierende Schärfebestimmungseinrichtungen 106, um die Schärfe der ermittelten Muster zu bestimmen, und eine Vergleichseinrichtung 108, die aus dem Ausgang bzw. Output der Schärfebestimmungseinrichtungen 106 bestimmt, welches Muster 94 oder 96 sich mehr und um wieviel mehr im Brennpunkt befindet. Die Vergleichseinrichtung 108 steuert dann den Motor 27, um die Objektivlinse 70 um einen Betrag zu bewegen, derart, daß die Bilder der zwei Muster 94 und 96 gleich scharf werden.

Es ist ersichtlich, daß der Autofokussierungsmechanismus der vorliegenden Erfindung bei beiden seiner Ausführungsformen mit jeder numerischen Blende bzw. (Blenden-)öffnung bzw. Apertur der Objektivlinse, wie der Linse 10, welche zum Abbilden des Objektes auf der Bildebene 14 verwendet wird, arbeitet. Es ist insbesondere zweckdienlich, wenn die zu betrachtenden Objekte sich bewegen, da das stationäre Autofokussierungsmuster leicht zu detektieren ist. Für stationäre Objekte muß eine komplexere Musteranalyse, welche hochentwickelte Algorithmen zur Ermittlung von Autofokussierungsmustern aus dem kombinierten Objekt und dem Autofokussierungsmusterbild verwendet, implementiert bzw. ausgestattet werden.

Es ist weiterhin ersichtlich, daß der Autofokussierungsmechanismus der vorliegenden Erfindung während der Autofokussierungsbewegung der Objektivlinse 10 betrieben bzw. gehandhabt werden kann, da das Bild (die Bilder) des Musters (der Muster) stationär ist (sind) und sich nur dessen (deren) Schärfeumfang ändert, wenn sich die Objektivlinse 10 bewegt.

Nun wird kurz auf die Fig. 7 Bezug genommen, welche die vorliegende Erfindung, die in einem Abbildungsteil eines Mikroskops eingebaut ist, darstellt. Gleiche Elemente des Mikroskops und des Autofokussierungsmechanismus haben gleiche Bezugsziffern. Die vorliegende Ausführungsform kann besonders zweckdienlich sein, wenn eine Köhlersche Beleuchtung verwendet wird.

Bei dieser Ausführungsform wird das Licht von der mit 198 bezeichneten Leuchte nicht beeinflußt. Der Autofokussierungslichtstrahl 210 wird über einen Strahlenteiler bzw. Strahlungsteiler 200 in den Hauptstrahlengang eingebracht. Der Strahlenteiler bzw. Strahlungsteiler 200 ist typischerweise zwischen der Tubuslinse 12 und dem Strahlenteiler 69 angeordnet. Das Licht von

der Objektfläche 16, welche das Bild des Musters 64 beinhaltet, verläuft durch den Strahlenteiler 200 und wird durch den Strahlenteiler 69 zu der Bildebene 14 und der CCD 70 (auf-)geteilt. Wie zuvor analysiert der Musteranalysator 72 das Bild, um den Umfang der Schärfe zu bestimmen und anzusehen, wie der Abstand zwischen dem Objektiv 10 und der Objektfläche 16 zu ändern ist.

Schließlich ist es für Fachleute ersichtlich, daß die vorliegende Erfindung nicht auf dasjenige beschränkt ist, was insbesondere gezeigt und hierin oben beschrieben worden ist. Der Schutzmfang der vorliegenden Erfindung wird vielmehr durch die Ansprüche definiert.

Patentansprüche

1. Autofokussierungsmikroskop, umfassend:

- ein optisches Mikroskopsystem mit einem Hauptstrahlengang, wobei das System umfaßt:
 - eine Objektivlinse mit einer Objektebene,
 - eine Objektfläche mit einem Objekt darauf, welche mit der Objektebene auszurichten ist,
 - eine Einrichtung zum Ändern des Abstandes zwischen der Objektivlinse und der Objektfläche, um dabei das Bild des Objektes zu fokussieren, und
 - wenigstens eine Bildebene, in welcher das Objekt abgebildet wird,
- einen Musterabbildungssystem zum Abbilden wenigstens eines Musters durch die Objektivlinse längs des Hauptstrahlenganges und auf der Objektfläche, wobei das Bild des wenigstens einen Musters mit einem Bild des Objektes kombiniert wird und längs des Hauptstrahlenganges hin zu der Bildebene reflektiert wird,
- einen einzelnen Abbildungsdetektor, der an einer der wenigstens einen Bildebene angeordnet ist, um das reflektierte Bild zu detektieren, und
- einen Musterbrennpunktanalysator, um den Umfang der Schärfe des wenigstens einen Musters durch Analysieren des Ausgangs des Bilddetektors zu bestimmen.

2. Autofokussierungsmikroskop nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Musterabbildungssystem eine kontrastreiche Mustereinrichtung, eine zusätzliche Linse zum Abbilden des Musters durch die Objektivlinse auf der Objektebene, eine Autofokussierungslichtquelle zum Beleuchten des Musters zu der zusätzlichen Linse und einen Strahlenteiler zum Kombinieren des Musterabbildungssystems mit dem Hauptstrahlengang umfaßt.

3. Autofokussierungsmechanismus, der mit einem Mikroskop arbeitet, das einen Hauptstrahlengang, eine Objektivlinse, eine Objektfläche, eine Bildebene und eine Einrichtung zum Ändern des Abstandes zwischen der Objektivlinse und der Objektfläche, um dabei das Bild des Objektes zu fokussieren, aufweist, umfassend:

- ein Musterabbildungssystem zum Abbilden wenigstens eines Musters durch die Objektivlinse längs des Hauptstrahlenganges und auf der Objektfläche, wobei das Bild des wenigstens einen Musters mit einem Bild des Objektes kombiniert wird und längs des Hauptstrahlenganges hin zu der Bildebene reflektiert wird,

- b. einen einzelnen Abbildungsdetektor, der an einer der wenigstens einen Bildebenen angeordnet ist, um das reflektierte Bild zu detektieren, und 5
c. einen Musterbrennpunktanalysator, um den Umfang der Schärfe des wenigstens einen Musters durch Analysieren des Ausganges des Bilddetektors zu bestimmen.
4. Autofokussierungsmikroskop nach einem der Ansprüche 2 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die 10 kontrastreiche Mustereinrichtung ein einzelnes Muster umfaßt, das in der Objektebene der zusätzlichen Linse angeordnet ist.
5. Autofokussierungsmikroskop nach einem der Ansprüche 2 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die 15 kontrastreiche Mustereinrichtung zwei kontrastreiche Muster umfaßt, die von der Objektebene der zusätzlichen Linse gleichbeabstandet angeordnet sind.
6. Autofokussierungsmikroskop nach Anspruch 5, 20 dadurch gekennzeichnet, daß jedes der kontrastreichen Muster an einem unterschiedlichen Teil der Objektebene des Objektivs abgebildet ist.
7. Autofokussierungsmikroskop nach einem der Ansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß 25 das optische Mikroskopsystem zusätzlich eine Leuchte und einen Beleuchtungsweg umfaßt und daß der Strahlenteiler längs des Beleuchtungsweges angeordnet ist.
8. Autofokussierungsmikroskop nach einem der Ansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß 30 der Strahlenteiler längs des Hauptstrahlenganges angeordnet ist.
9. Autofokussierungsmikroskop nach einem der Ansprüche 2 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die 35 Autofokussierungslichtquelle Licht zur Verfügung stellt, die für das menschliche Auge nicht sichtbar ist.
10. Autofokussierungsmikroskop nach einem der Ansprüche 2 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß 40 der Musterbrennpunktanalysator eine Musterermittlungseinrichtung zum Ermitteln des Musters und eine Musterschärfebestimmungseinrichtung zum Bestimmen der Schärfe des Musters umfaßt.
11. Autofokussierungsmikroskop nach Anspruch 45 10, dadurch gekennzeichnet, daß die kontrastreiche Mustereinrichtung zwei kontrastreiche Muster umfaßt, die von der Objektebene der zusätzlichen Linse gleich beabstandet angeordnet sind, und daß die Musterschärfebestimmungseinrichtung auf Bilder 50 von jedem der zwei kontrastreichen Muster getrennt einwirkt, um dabei zwei Schärfewerte zu erzeugen, und daß der Musterbrennpunktanalysator zusätzlich Einrichtungen zum Bestimmen einer Richtung und eines Betrages der Bewegung aus 55 den Schärfewerten für die Einrichtung zum Ändern des Abstandes umfaßt.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

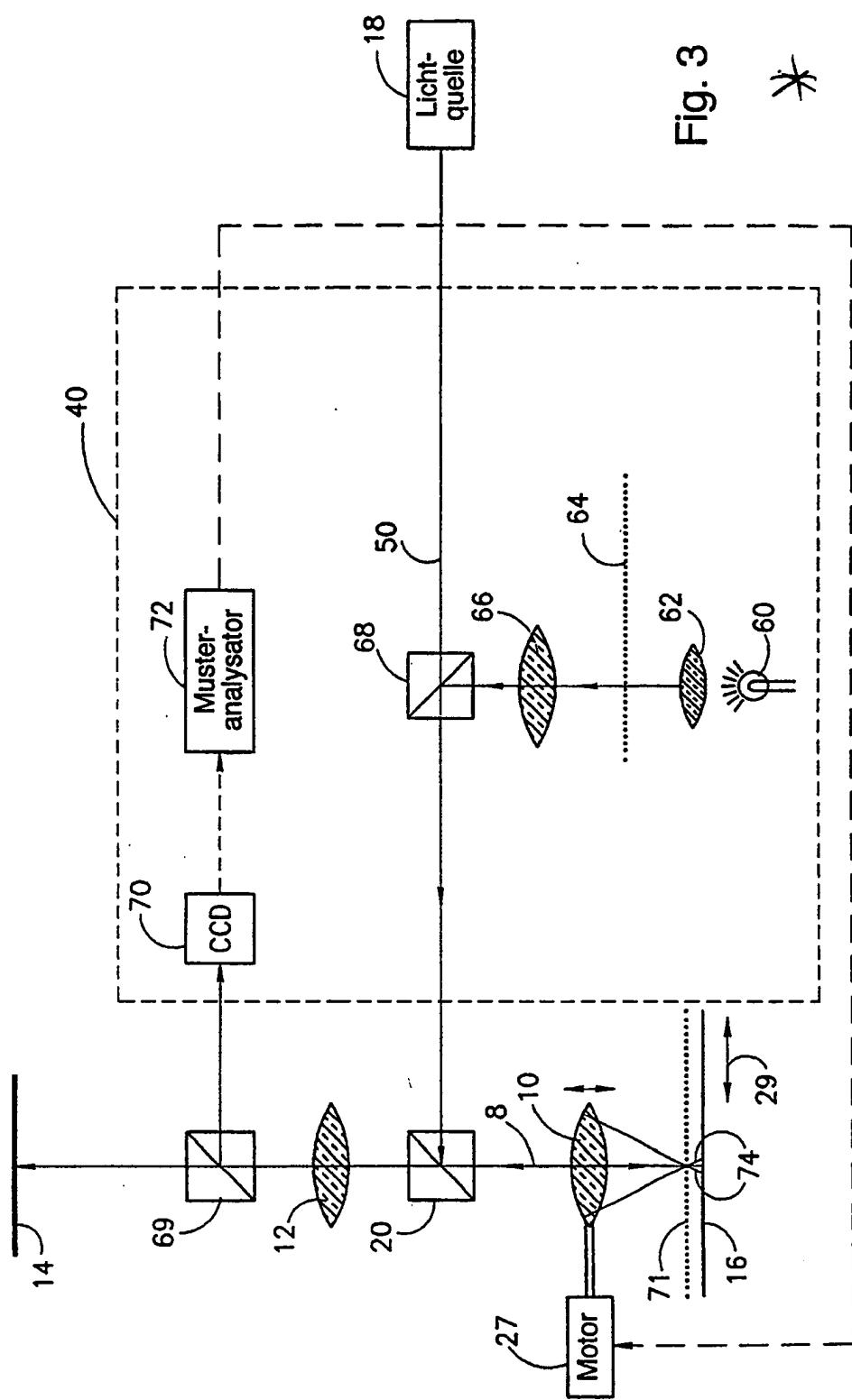
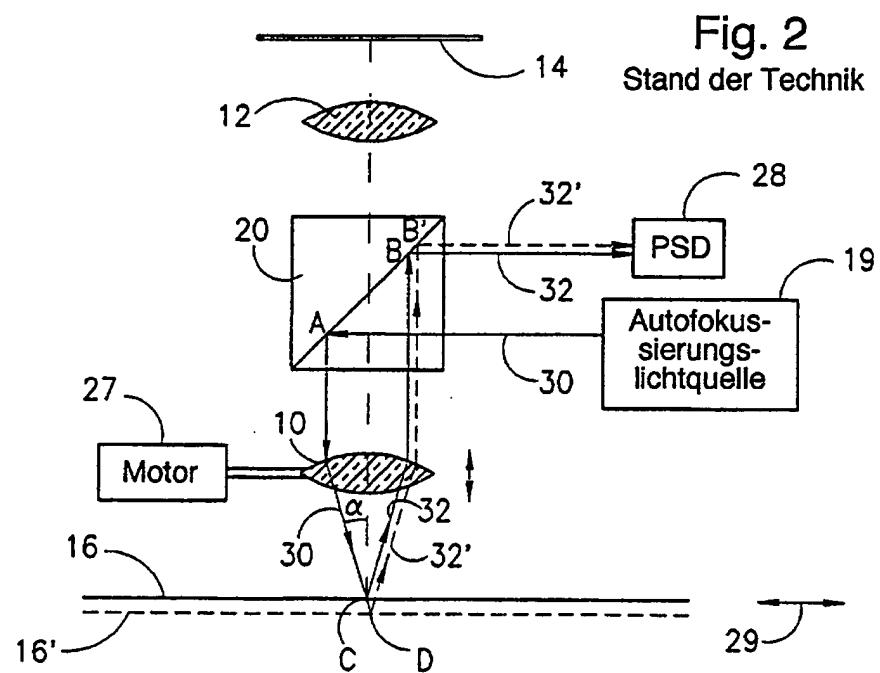
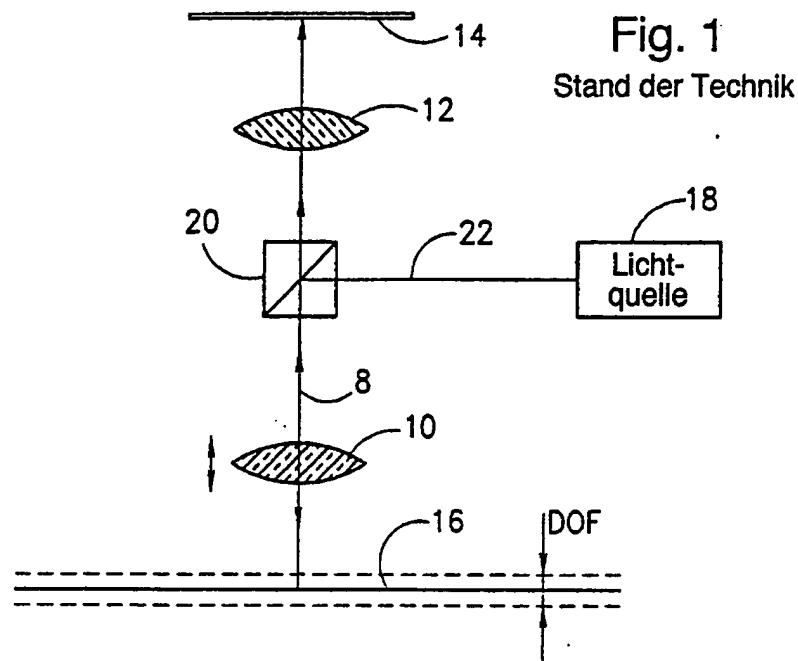


Fig. 3



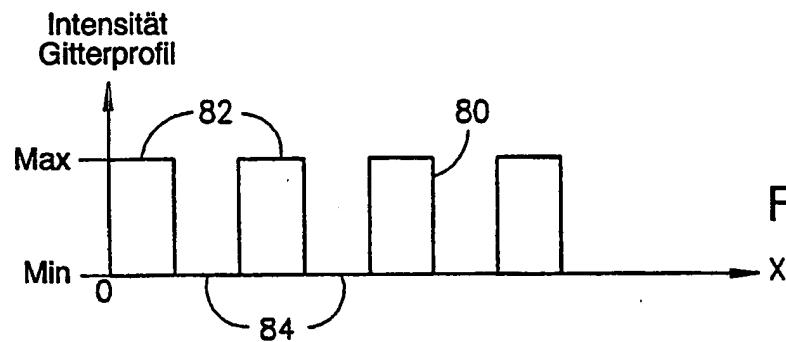


Fig. 4A

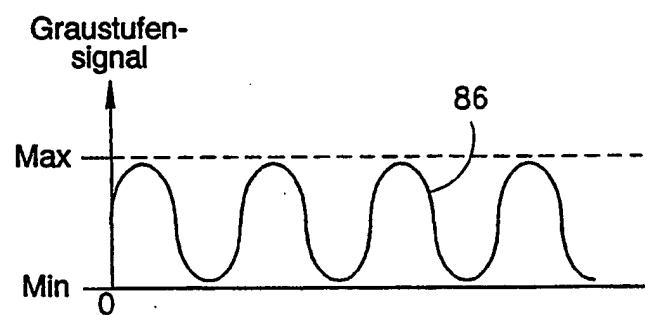


Fig. 4B

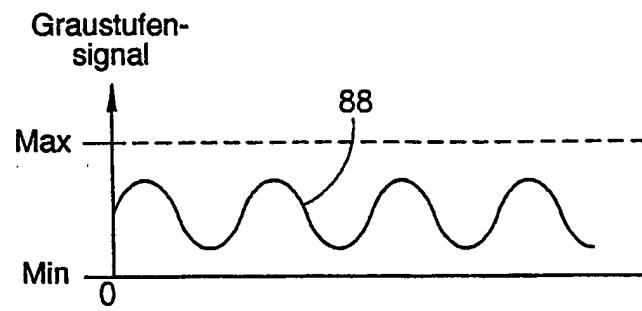


Fig. 4C

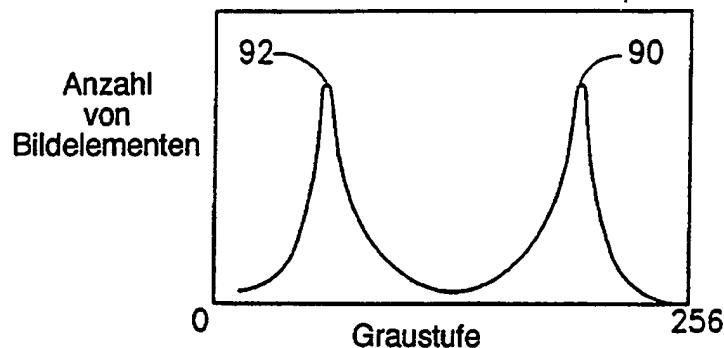


Fig. 4D

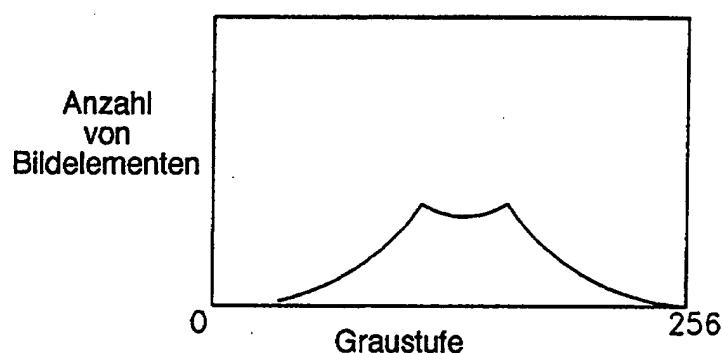


Fig. 4E

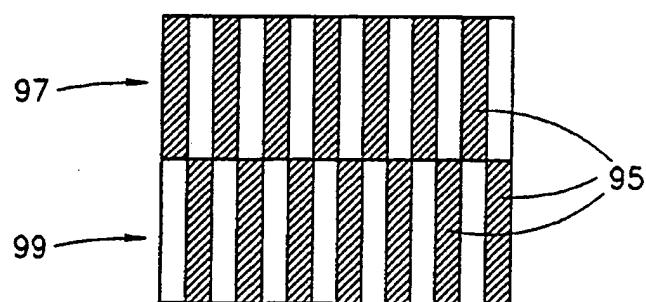


Fig. 6

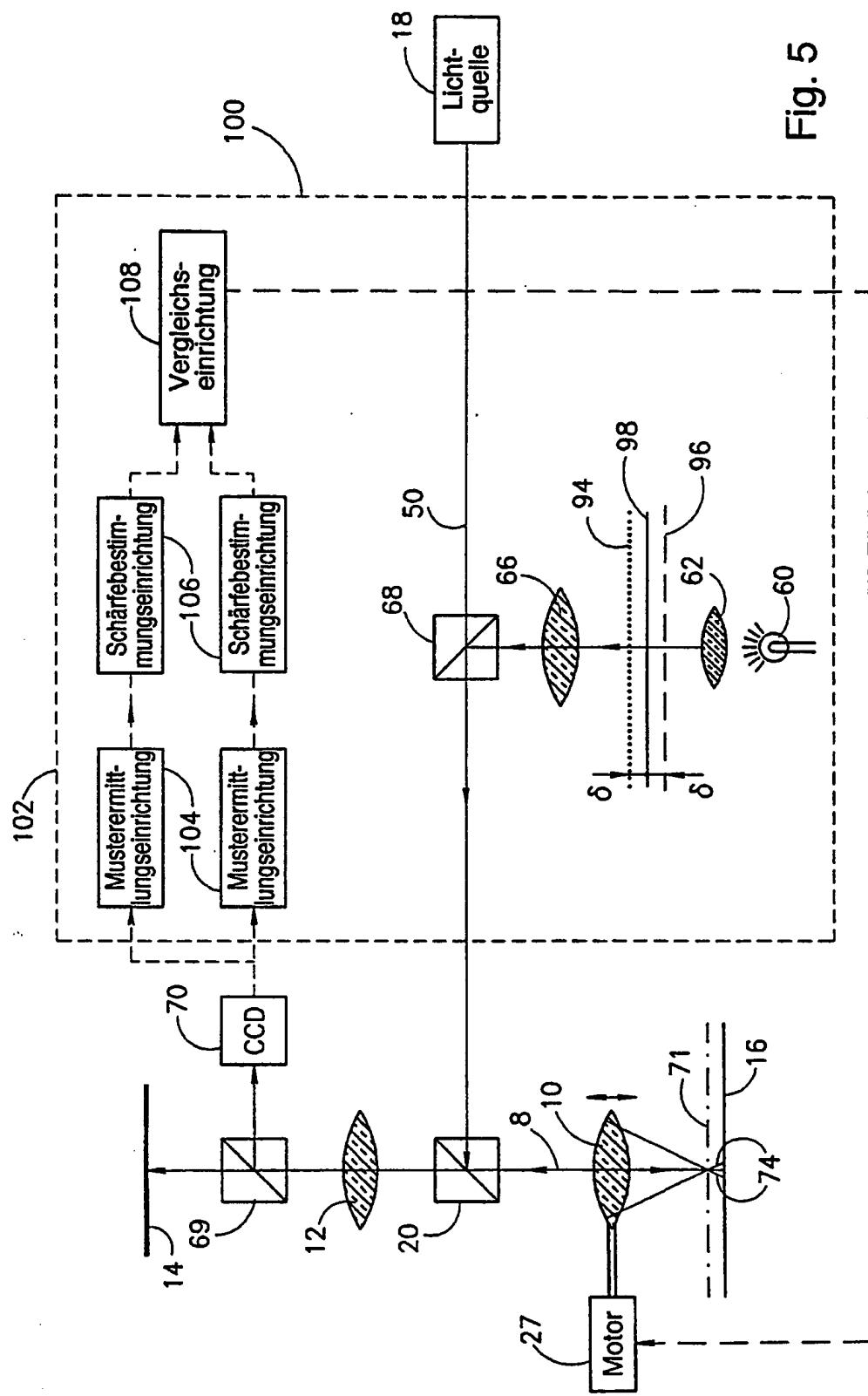


Fig. 5

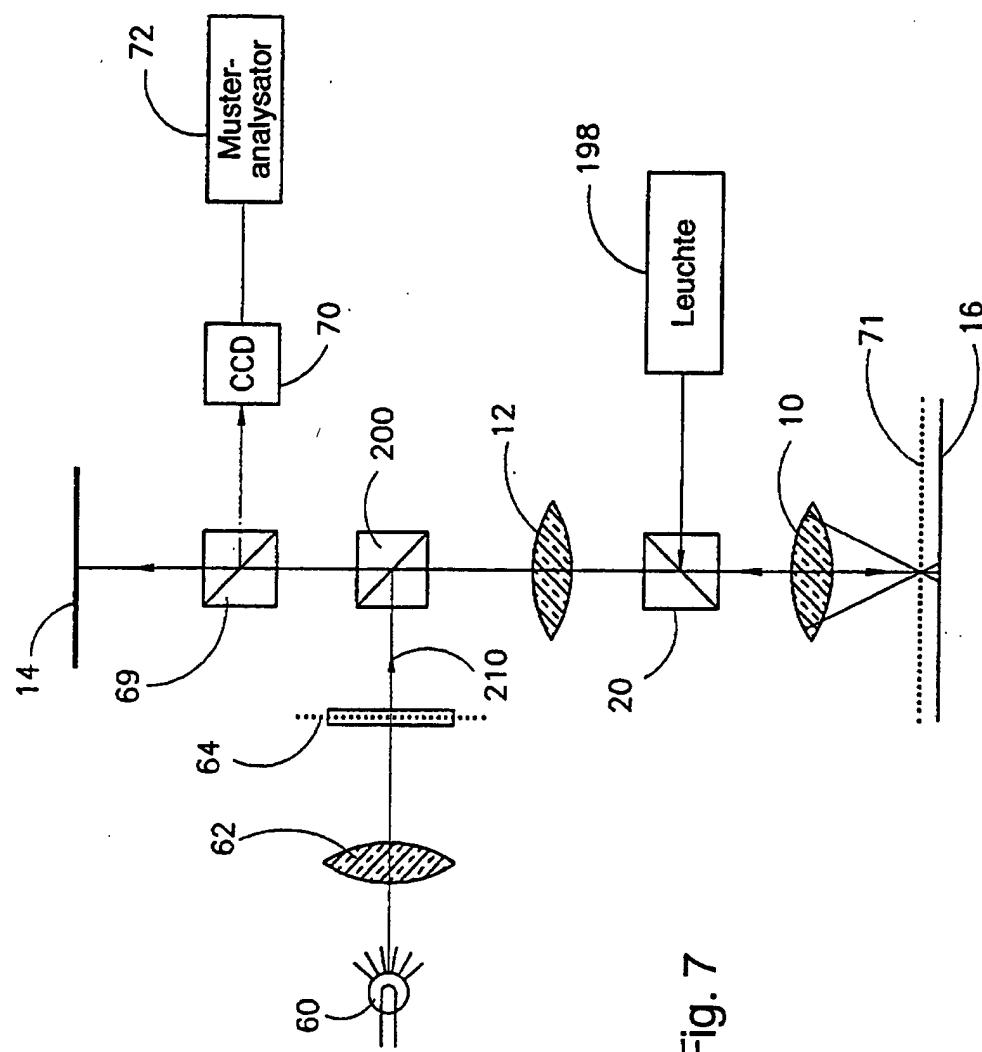


Fig. 7